

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-523367

(P2009-523367A)

(43) 公表日 平成21年6月18日 (2009.6.18)

(51) Int.Cl.		F I				テーマコード (参考)
H04W 4/04	4/04	(2009.01)	H04Q	7/00	1 1 3	5 K 0 6 7
H04W 72/12	72/12	(2009.01)	H04Q	7/00	5 6 0	
H04W 52/02	52/02	(2009.01)	H04Q	7/00	4 2 1	
H04W 92/20	92/20	(2009.01)	H04Q	7/00	6 9 3	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2008-550394 (P2008-550394)
 (86) (22) 出願日 平成19年1月11日 (2007.1.11)
 (85) 翻訳文提出日 平成20年9月11日 (2008.9.11)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2007/000690
 (87) 国際公開番号 W02007/082018
 (87) 国際公開日 平成19年7月19日 (2007.7.19)
 (31) 優先権主張番号 60/758,167
 (32) 優先日 平成18年1月11日 (2006.1.11)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

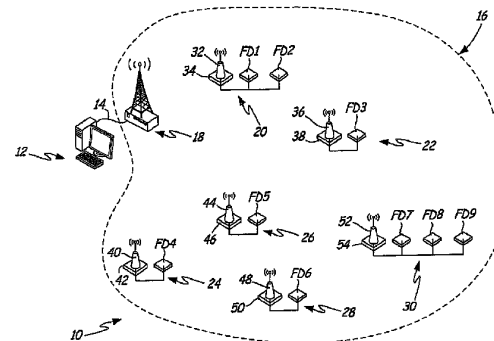
(71) 出願人 506280926
 フィッシャー・ローズマウント システムズ,
 インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 テキサス州 78759
 -2369 オースティン リサーチ ブ
 ルバード 12301 リサーチ パーク
 プラザ ビルディング スリー
 (74) 代理人 110000578
 名古屋国際特許業務法人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低電力無線メッシュネットワークにおけるフィールドデバイスの選択的起動

(57) 【要約】

制御システムは、ホストコンピュータとフィールドデバイスとの間で通信を行うために、無線ネットワークを用いる。フィールドデバイスは、通常、低電力状態すなわち休止状態に維持されている。ホストコンピュータとの通信に関与する予定のフィールドデバイスのみがオンされ、フィールドデバイスとホストコンピュータとの間の通信が完了するまで、オンされる。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

システムであって、
ホストと、
フィールドデバイスと、

前記ホストと前記フィールドデバイスとの間で無線メッセージをルーティングするための無線ネットワークであって、該無線ネットワークは、前記ホストと前記フィールドデバイスとが能動的に通信しているときに、前記ホストによって開始された通信期間を除いて、前記フィールドデバイスを低電力状態に維持し、前記通信期間が終了するまで、前記フィールドデバイスを全電力状態に維持する、無線ネットワークと

10

を備えていることを特徴とするシステム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のシステムであって、
前記無線ネットワークは、複数のノードを備え、
前記フィールドデバイスは、前記ノードのうちの 1 つに関連付けられている
ことを特徴とするシステム。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のシステムであって、
前記無線ネットワークは、前記ホストと通信し、前記ノードの起動スケジュールを制御する、ゲートウェイを含んでいる
ことを特徴とするシステム。

20

【請求項 4】

請求項 3 に記載のシステムであって、
前記フィールドデバイスは、前記起動スケジュールのオン / オフ周期を通して、前記通信期間が終了するまで、全電力状態を継続する
ことを特徴とするシステム。

【請求項 5】

システムであって、
複数のフィールドデバイスと、
フィールドデバイスに制御メッセージを送信するため、および前記フィールドデバイスから応答メッセージを受信するためのホストと、
複数のノード間で無線メッセージをルーティングするための無線ネットワークであって、各ノードは、前記複数のフィールドデバイスのうちの少なくとも 1 つを有し、前記無線メッセージは、前記制御メッセージまたは応答メッセージのコンテンツを含み、前記無線ネットワークは、前記ホストから、選択されたフィールドデバイスへの制御メッセージに
応答するときのみ、前記選択されたフィールドデバイスをオンする、無線ネットワークと
を備えていることを特徴とするシステム。

30

【請求項 6】

請求項 5 に記載のシステムであって、
前記無線ネットワークは、前記ホストと前記選択されたフィールドデバイスとの間の通信が終了するときに、前記選択されたフィールドデバイスをオフする
ことを特徴とするシステム。

40

【請求項 7】

請求項 6 に記載のシステムであって、
前記ホストは、前記通信の終了を示す制御メッセージを供給する
ことを特徴とするシステム。

【請求項 8】

請求項 6 に記載のシステムであって、
前記無線ネットワークは、前記ホストと前記選択されたフィールドデバイスとの間のメ

50

ッセージトラフィックにおける休止期間によって、前記通信の終了を識別することを特徴とするシステム。

【請求項 9】

請求項 5 に記載のシステムであって、

前記無線ネットワークは、前記ホストと前記選択されたフィールドデバイスとの間の通信が完了するまで、前記無線ネットワークのオン/オフの起動周期を通して、前記選択されたフィールドデバイスをオン状態に維持する

ことを特徴とするシステム。

【請求項 10】

無線ネットワークを介してホストとフィールドデバイスとの間で通信する方法であって

10

、
該方法は、

前記ホストにて、制御メッセージを生成することと、

前記制御メッセージのコンテンツを格納する無線メッセージを生成することと、

前記無線ネットワーク上に前記無線メッセージを送信することと、

前記無線メッセージを受信することと、

前記無線メッセージから前記制御メッセージの前記コンテンツを抽出することと、

前記制御メッセージのアドレス指定先であるフィールドデバイスをオンすることと、

前記制御メッセージを前記フィールドデバイスに配信することと

を備えていることを特徴とする方法。

20

【請求項 11】

請求項 10 に記載の方法であって、

さらに、

前記フィールドデバイスにて、応答メッセージを生成することと、

前記応答メッセージのコンテンツを含む無線メッセージを生成することと、

前記無線ネットワーク上に、前記応答メッセージのコンテンツを含む前記無線メッセージを送信することと、

前記応答メッセージのコンテンツを含む前記無線メッセージを受信することと、

前記応答メッセージを前記ホストに配信することと

を備えていることを特徴とする方法。

30

【請求項 12】

請求項 10 に記載の方法であって、

さらに、

前記ホストと前記フィールドデバイスとの間の通信が完了するまで、前記フィールドデバイスをオン状態に維持したのち、前記フィールドデバイスをオフすること

を備えていることを特徴とする方法。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の方法であって、

さらに、

前記フィールドデバイスにアドレス指定された別の制御メッセージが受信されるまで、
前記フィールドデバイスをオフ状態に維持すること

を備えていることを特徴とする方法。

40

【請求項 14】

メッセージを送受信可能な、各ノードが少なくとも 1 つのフィールドデバイスに関連付けられている、複数のノードを有する無線メッシュネットワークを動作させる方法であって、

該方法は、

前記ノードによってメッセージがいつ送受信可能であるかを規定する、広域的で定期的な起動スケジュールに、前記ネットワークの前記ノードを同期させることと、

前記スケジュールの起動期間中に、メッセージが送信される予定であるフィールドデバ

50

イスのみを選択的に起動することと
を備えていることを特徴とする方法。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の方法であって、
さらに、
前記フィールドデバイスとの通信が完了するまで、起動された前記フィールドデバイスを起動状態に維持すること
を備えていることを特徴とする方法。

【請求項 16】

複数のノードを有する無線メッシュネットワークにおいてメッセージを通信する方法であって、
該方法は、
起動期間中にメッセージを送受信するために、ノードを起動することと、
前記起動期間中にメッセージがフィールドデバイスに送信される予定であるのかに基づいて、スケジュールの起動期間中に、どのフィールドデバイスをオンするのかを制御することと
を備えていることを特徴とする方法。

【請求項 17】

請求項 16 に記載の方法であって、
さらに、
前記フィールドデバイスとの通信が完了するまで、オンされた前記フィールドデバイスをオン状態に維持すること
を備えていることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の詳細な説明】

【0001】

〔発明の背景〕

本発明は、無線ネットワークに関する。具体的には、本発明は、ホストと、無線メッシュネットワークの各ノードにおけるフィールドデバイスとの間で、プロセス制御メッセージが通信される無線メッシュネットワークに関する。

【0002】

多くの工業環境では、在庫やプロセス等を監視および制御するのに、制御システムが使用されている。そのような制御システムは、集中制御室を有し、集中制御室には、集中制御室から分離されていたり、集中制御室から配置上離間されたフィールドデバイスと通信する、ホストコンピュータが設けられていることが多い。

【0003】

一般的に、各フィールドデバイスにはトランスデューサが含まれており、トランスデューサは、物理的入力に基づいて出力信号を生成したり、入力信号に基づいて物理的出力を生成する。フィールドデバイスで用いられるトランスデューサの種類としては、各種分析機器、各種圧力センサ、各種サーミスタ、各種熱電対、各種ひずみゲージ、各種流量センサ、各種位置決め装置、各種アクチュエータ、各種ソレノイド、各種表示器等がある。

【0004】

従来、アナログフィールドデバイスは、2 線式ツイストペアカレントループでプロセスサブシステムおよび制御室に接続されると共に、各デバイスは、単一の 2 線式ツイストペアループで制御室に接続されてきた。通常、2 線間の電圧差は約 20 ~ 25 ボルトに維持され、4 ~ 20 ミリアンペア (mA) の電流がループ内を流れる。アナログフィールドデバイスは、カレントループ内を流れる電流を、感知されたプロセス変量に比例した電流に変調することによって、制御室に信号を送信する。制御室の制御下で動作するアナログフィールドデバイスは、ループ内を流れる電流の大きさによって制御され、ループ内を流れる電流は、コントローラによって制御されるプロセスサブシステムのポートにより変調さ

れる。

【 0 0 0 5 】

これまで、フィールドデバイスは1つの機能しか果たすことができなかったが、最近では、デジタルデータをカレントループに重畳するハイブリッドシステムが、分散制御システムで用いられるようになってきている。ハイウェイ・アドレスサブル・リモート・トランスデューサ(HART)・システムは、デジタル搬送波信号をカレントループ信号に重畳する。デジタル搬送波信号は、二次情報および診断情報を送信するのに用いることができる。デジタル搬送波信号上で提供される情報の例としては、二次プロセス変量、(例えば、センサ診断、デバイス診断、配線診断、プロセス診断等の)診断情報、作動温度、センサ温度、校正データ、デバイスID番号、設定情報等が挙げられる。したがって、単一のフィールドデバイスが様々な入出力変数を有することが可能であり、また様々な機能を果たすことが可能である。

10

【 0 0 0 6 】

別の方法では、制御室にあるホストに複数のフィールドデバイスを接続するのに、デジタル通信バスを用いる。デジタルバスに接続されたフィールドデバイスと共に用いられるデジタル通信プロトコルの例としては、ファウンデーション・フィールドバス、プロフィバス、モドバス、およびデバイスネットが挙げられる。ホストコンピュータと複数のフィールドデバイスとの間におけるメッセージの双方向デジタル通信は、フィールドデバイスに電力を供給するのと同じの2線式伝送路上で行われ得る。

【 0 0 0 7 】

20

一般的に、制御室から遠隔アプリケーションへと、非常に長い、ホームラン方式ケーブルを設置することによって、制御システムに遠隔アプリケーションが加えられてきている。遠隔アプリケーションが、例えば半マイル離れているとすると、そのような長いケーブルを設置するのに関わる費用は高くなり得る。複数のホームラン方式ケーブルを遠隔アプリケーションへと設置する必要がある場合には、その費用はさらに高くなる。無線通信は、望ましい代案を提供し、産業用プロセス制御システムで使用するために、無線メッシュネットワークが提案されるようになった。しかし、費用を最小限に抑えるためには、既存の制御システムおよび通信プロトコルを維持することで、無線通信を調整するために、既存のシステムを変更するのに関わる費用を削減することも望ましい。

【 0 0 0 8 】

30

低電力のセンサまたは低電力のアクチュエータを基礎としたアプリケーション用に設計された無線メッシュネットワークシステムでは、ネットワーク内の多数のデバイスに、長寿命バッテリーによって、あるいは低電力のエネルギー抽出(energy-scavenging)電源によって、電力を供給しなければならない。120VACの設備のような電源出力は、一般的にすぐ近くに配置されないか、あるいは多大な設置費用を発生することなく、計装(センサ)やアクチュエータを配置しなければならない危険領域内に配置できない可能性がある。設置費用を低減する必要があるために、無線メッシュネットワークの一部として通信を行うバッテリー駆動デバイスの必要性が高まっている。再充電不能な一次電池のような有限電源を有効利用することが、無線デバイスを正常に機能させるためには不可欠である。バッテリーには、5年を上回る寿命を持つことが期待されており、製品寿命と同程度長持ちすることが好ましい。

40

【 0 0 0 9 】

実際の無線メッシュネットワークでは、各デバイスが、メッシュネットワーク内の他のデバイスと同様に、個別にメッセージをルーティングする能力を持たなければならない。メッセージがネットワークを通じてノードからノードへとホッピングするという概念は、有益である。その理由は、より低電力のRF無線機を用いることができ、なおかつメッシュネットワークは、メッセージを一端から他端まで配信する大きな物理的範囲におよぶことができるからである。集中基地局と直接通信する遠隔デバイスを使用するポイントツーポイント(2地点間)システムとは対照的に、メッシュネットワークでは、高出力無線機は必要とされない。

50

【 0 0 1 0 】

メッシュネットワークプロトコルによって、ノード間でのメッセージ通信、および各ノードとデータ収集装置との間のメッセージ通信、または各ノードと、より高レベルでより高速な特定のデータバスへのブリッジあるいはゲートウェイとの間のメッセージ通信に用いる、代替伝送路を形成することができる。無線メッセージのために別の冗長な伝送路を有すれば、環境の影響によって、あるいは干渉によって、たとえ一方の伝送路が遮断されたり、劣化したとしても、メッセージを流すための少なくとも1つの代替伝送路の存在を確保することで、データ信頼性を高めることになる。

【 0 0 1 1 】

メッシュネットワークプロトコルの中には、全てのノードが、指定された親ノードと、少なくとも1つの代替親ノードを有するように、確定的にルーティングされるものがある。メッシュネットワークの階層では、人間の家族と同じように、親が子を持ち、子が孫を持つなどしている。各ノードは、各々の子孫（派生ノード）のためのメッセージを、ネットワークを通じてゲートウェイなどの特定の最終送信先まで中継する。親ノードは、バッテリー駆動のデバイス、あるいは有限エネルギー駆動のデバイスであってもよい。ノードは、派生ノードを多く有するほど、多くのトラフィックをルーティングしなければならず、その結果、ノード自体の電力消費が直接的に増大し、そのノードのバッテリー寿命が短くなる。

【 0 0 1 2 】

電力を節約するために、プロトコルの中には、メッセージを検出する限られた時間の間だけノードの無線機をオンにすることによって、任意の期間中に任意のノードが処理することができるトラフィックの量を制限しているものがある。したがって、平均電力を低減するために、プロトコルは、無線機をオン/オフ状態間でデューティサイクルさせることが可能である。プロトコルの中には、電力を節約するために、ネットワーク全体が同時にオン/オフ状態になるような、広域的なデューティサイクルを用いるものがある。（例えば、TDM Aに基づく）他のプロトコルは、互いにリンクされているノードの通信ペアのみが、所定の時間毎に、同期化された方法で、オン/オフするようにスケジュールされた、局所的なデューティサイクルを用いている。一般的には、通信のための特定のタイムスロットと、無線機が使用するRF周波数チャネルと、その時点でどちらが受信側（Rx）となるのかと、その時点でどちらが送信側（Tx）となるのかとを、ノードのペアに割り当てることによって、ノードのリンクは事前に設定される。

【 0 0 1 3 】

プロトコルの中には、定期的に繰り返されるスケジュールで、ノードにリンクを割り当てるという概念を採用することにより、ネットワーク内のデバイスから、定期的に最新情報およびメッセージを配信することができるものがある。TDM Aに基づいた先進のプロトコルにおいては、複数の能動的スケジュールの概念を採用できるものがある。これら複数のスケジュールは、全てが同時に実行されるか、あるいは必要性が生じたときに、広域的なネットワークコントローラによって、特定のスケジュールが起動/停止される。例えば、低速動作スケジュールでは、低電力消費を達成するために、メッセージ間でより長い時間（長期サイクルタイム）をかけてメッセージを送信するノード同士をリンクする。高速動作スケジュールでは、スループットを高め、待ち時間を短縮するために、より迅速にメッセージを送信するノード同士をリンクするものの、ノードでの電力消費は結果的により大きくなる。複数の動作スケジュールを許容するプロトコルでは、上流トラフィック用に最適化できるスケジュールもあれば、下流トラフィック用に最適化できるスケジュールもあれば、さらに、デバイスの参加やデバイスの設定などといったネットワーク管理機能用に最適化できるスケジュールもある。様々な時間に様々な必要性を満たすために、ネットワーク全体を通して多様なスケジュールを広域的に起動/停止することは、電力消費と待ち時間の短縮との間で好適なバランスをとることを達成する上で、わずかな柔軟性をもたらすものの、同一のスケジュールを全てのノードに適用するため、局所的な最適化をもたらすことがない。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

同期システムでは、ノードは、メッセージを転送することができるようになる前に、ノードにおける次の所定のオン時間まで送信するのを待たなければならないことになる。待つことで待ち時間が増加することになるため、適切な宛先の設定および適切な管理がされなければ、多くのアプリケーションで大きな支障が生じ得る。互いにリンクされたノードのペアが適切に同期されない場合、無線機は、誤った時間に、あるいは誤った時間に誤ったモード（RxまたはTx）で、オンになってしまうので、ノードは、メッセージの転送に成功しないようになる。唯一の動作スケジュールが長期間サイクルタイムを有する場合、スケジュールされたリンク間の時間は長くなり、待ち時間に影響するようになる。高速スケジュールが起動された場合、スケジュールされたリンク間の時間は短くなるものの、バッテリー寿命は、やがてある程度まで低下するようになる。

10

【 0 0 1 5 】

プロトコルの中には、バックグラウンドで低速スケジュールを実行しつつ、さらに高速スケジュールを広域的に起動/停止することができるものがある。ネットワーク全体を通して、高速スケジュールを広域的に起動し、広域的なコマンドを受信したという確認が全てのノードから返ってくるのには時間が掛かるため、ネットワークまたはサブネットワークは、遷移時間の間、応答性の低いモードのままである。さらに、高速スケジュールが広域的に起動された場合、派生ノードが高速スケジュールから利点を得るようなことがない親ノードさえも含む、ネットワーク内の全ての親ノードで電力が浪費される。これら感知性の低い親ノードは、たとえこれら親ノードの派生ノードが、ネットワークのその部分での定期的な起動スケジュールが不十分であるということを送信するのに何も余分に有していない場合であっても、広域的な高速起動スケジュールでは、より頻繁に受信を試みなければならない（すなわち、より頻繁にRxに対して、これら親ノードの無線機をオンにしなければならない）。

20

【 0 0 1 6 】

プロトコルの中には、1つのノードが有することができる派生ノードの数を制限することで、そのノードがサポートしなければならない負荷を低減することができるものがある。他には、平均電力消費を低減するために、これら全ての手段を組み合わせる用いることができるプロトコルがある。これら省電力手段の全てが、メッセージの転送作業をする、ネットワーク内のノードの可用性を低減するという影響をもたらすので、ネットワークを介して配信されるメッセージの待ち時間が増加する。無線機をデューティサイクルすると、待ち時間が増加する。メッセージをノードからノードへとホッピングさせると、待ち時間が増加する。派生ノードの数を制限することで、ホップ深度（ホップ回数）を増大させると、待ち時間が増加する。低速起動スケジュール（長期間の繰り返し周期）を実行すると、待ち時間が増加する。高速起動スケジュールを広域的に起動することでさえ、時間が掛かる。情報の価値は、時間とともに下がる可能性があるので、待ち時間が長ければ長いほど、情報の価値が低くなり得る。

30

【 0 0 1 7 】

プロトコルに改良を加えて、電力消費と待ち時間との間のトレードオフを低減することは、非常に有益である。その理由は、プロトコルの改良によって、ユーザによる介入および設定なしに、同じプロトコルを幅広い種類のエンドアプリケーション（end applications）に使用することが可能になるからである。広域的最適化を介した局所的最適化をもたらす改良は、最も柔軟性があり、最も有益である。

40

【 0 0 1 8 】

[発明の概要]

無線メッシュネットワークにおける電力を節約するために、ネットワークのノードは、メッセージの送受信がいつ可能になるのかを規定する、定期的な起動スケジュールに同期される。各ノードは、少なくとも1つのフィールドデバイスに関連付けられる。

【 0 0 1 9 】

無線ネットワークが起動されているとき、すなわちオンの周期にあるとき、その起動周

50

期中にメッセージが送信されてくる予定のフィールドデバイスのみがオンされて、起動すなわち全出力状態になる。メッセージを受信する予定のないフィールドデバイスは、オンされることはなく、ネットワーク内の電力を節約する。

【 0 0 2 0 】

[詳細な発明]

図 1 は、制御システム 1 0 を示しており、制御システム 1 0 は、ホストコンピュータ 1 2、高速ネットワーク 1 4、および無線メッシュネットワーク 1 6 を有し、無線メッシュネットワーク 1 6 は、ゲートウェイ 1 8 および無線ノード 2 0, 2 2, 2 4, 2 6, 2 8, 3 0 を有する。ゲートウェイ 1 8 は、高速ネットワーク 1 4 を介して、メッシュネットワーク 1 6 をホストコンピュータ 1 2 と相互接続する。メッセージは、ネットワーク 1 4 を介して、ホストコンピュータ 1 2 からゲートウェイ 1 8 へと伝送されたのち、複数の異なる伝送路の 1 つを介して、メッシュネットワーク 1 6 内の選択されたノードへと伝送され得る。同様に、メッシュネットワーク 1 6 内の個々のノードからのメッセージは、複数の伝送路の 1 つを介して、ノードからノードへとメッシュネットワーク 1 6 を通してルーティングされたのち、ゲートウェイ 1 8 に到達し、続いて高速ネットワーク 1 4 を介してホスト 1 2 へ伝送される。

10

【 0 0 2 1 】

制御システム 1 0 は、有線分散制御システム用に設計され、有線分散制御システムに使用されてきたフィールドデバイスを利用できるだけでなく、無線メッシュネットワークで使用するための無線伝送装置として特別に設計されたフィールドデバイスを利用することもできる。ノード 2 0, 2 2, 2 4, 2 6, 2 8, 3 0 は、従来のフィールドデバイスを含んでいる無線ノードの例を示している。

20

【 0 0 2 2 】

無線ノード 2 0 は、無線機 3 2、無線機器ルータ (W D R) 3 4、およびフィールドデバイス F D 1, F D 2 を有する。ノード 2 0 は、1 つの固有の無線アドレスと、2 つの固有のフィールドデバイスアドレスとを有する、ノードの一例である。

【 0 0 2 3 】

ノード 2 2, 2 4, 2 6, 2 8 は、各々が、1 つの固有の無線アドレスと、1 つの固有のフィールドデバイスアドレスとを有するノードを示す例である。ノード 2 2 は、無線機 3 6、W D R 3 8、およびフィールドデバイス F D 3 を有する。同様に、フィールドデバイス 2 4 は、無線機 4 0、W D R 4 2、およびフィールドデバイス F D 4 を有し、ノード 2 6 は、無線機 4 4、W D R 4 6、およびフィールドデバイス F D 5 を有し；ノード 2 8 は、無線機 4 8、W D R 5 0、およびフィールドデバイス F D 6 を有する。

30

【 0 0 2 4 】

ノード 3 0 は、1 つの固有の無線アドレスと、3 つの固有のフィールドデバイスアドレスとを有する。ノード 3 0 は、無線機 5 2、W D R 5 4、およびフィールドデバイス F D 7, F D 8, F D 9 を有する。

【 0 0 2 5 】

無線ネットワーク 1 6 は、長寿命バッテリーあるいは低電力のエネルギー抽出電源によって、多数のノードが駆動される、低電力ネットワークであることが好ましい。無線ネットワーク 1 6 を介した通信は、メッシュネットワークの構成に従って行うことができ、メッシュネットワークの構成では、メッセージは、ネットワーク 1 6 を通して、ノードからノードへと伝送される。メッセージがネットワーク 1 6 を通してノードからノードへと伝送されることにより、低電力の R F 無線機を使用することが可能になる一方、ネットワーク 1 6 は大きな物理的範囲におよび、メッセージをネットワークの一端から他端まで配信することが可能になる。

40

【 0 0 2 6 】

フィールドデバイスを含む低電力無線ネットワークでは、ネットワーク全体およびフィールドデバイスを低電力状態 (オフすなわち休止状態) に設定することによって、電力を節約することができる。低電力無線ネットワークは、ホストコンピュータがフィールドデ

50

バイスと通信できるように、高電力状態（オンすなわち起動状態）に切り替わる。例えば、メッセージを送受信するために、いつ全てのノードをオンするのかを規定する、無線ネットワークの広域的なデューティサイクルを設定することができる。

【 0 0 2 7 】

しかし、無線ネットワークが起動されるときに、無線ネットワークの当該オン期間中すなわち起動期間中に、ごく一部のフィールドデバイスだけが利用される予定である場合、全てのフィールドデバイスを起動するのは無駄なことである。通信に關与する予定のないフィールドデバイスを起動するために電力を使用することは、当該ノードで利用可能なエネルギーを浪費することになり、バッテリーの寿命に影響を与え得る。

【 0 0 2 8 】

さらに、限られた数のフィールドデバイスのみが通信に關与する場合、無線ネットワークにおける少なくとも一部のノードは必要とされないと思われる。その理由は、それらノードが、フィールドデバイスとホストコンピュータとの間の無線ネットワークを介する通信経路内に存在する可能性が低いからである。メッセージが全く受信されないときに、メッセージを受信するために無線機をオンに維持しておくことは、エネルギーを浪費することになり、バッテリーの寿命に影響を与える。

【 0 0 2 9 】

制御システム 1 0 は、フィールドデバイスをオンにしたりオフにしたり、また、無線ノードをオンにしたりオフにしたりする微細管理を行うことが可能であり、その結果、全電力状態に維持しておく必要があるのは、実行中の通信に必要なノードおよびフィールドデバイスのみである。同時に、制御システム 1 0 は、ホストコンピュータ 1 2 と所望の通信が行われている間、全電力である必要があるフィールドデバイスおよびノードを、確実にオン状態に維持しておくことができる。

【 0 0 3 0 】

制御システム 1 0 では、ホストコンピュータ 1 2 が、特定のフィールドデバイスと長期間にわたって通信することが必要になり得る状況がある。例えば、制御システム 1 0 が起動するときに、ホストコンピュータ 1 2 は、各フィールドデバイスの存在を検出して、各フィールドデバイスから、記憶されたパラメータおよび設定データの全てを得るために、発見を行う場合がある。この処理の間、ホストコンピュータ 1 2 と個々のフィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 との間で、複数のメッセージが送信されるであろう。別の例は、ホストコンピュータ 1 2 がフィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 のうちの 1 つを設定をする必要があるときである。伝送する必要がある設定データの量によって、ホストコンピュータ 1 2 と、設定中の特定のフィールドデバイスとの間で、複数のメッセージが送信されることになる。

【 0 0 3 1 】

これらの場合のいずれにおいても、1つのフィールドデバイスだけが通信に關与し得る場合に、無線ネットワーク 1 6 がオンになり、フィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 の全てがオンになることは、非効率的であると思われる。制御システム 1 0 は、特定のフィールドデバイスにアドレス指定された制御メッセージが、ホストコンピュータ 1 2 から受信されるまで、全てのフィールドデバイスを休止状態、すなわちオフ状態に維持しておくことによって、この問題に対処している。その際に、当該ノードの無線機器ルータ（W D R）によって、アドレス指定されたフィールドデバイスに電力が供給される。例えば、フィールドデバイス F D 3 にアドレス指定された、ホストコンピュータ 1 2 からの制御メッセージを受信したことに応答して、ノード 2 2 の W D R 3 8 は、フィールドデバイス F D 3 の電源をオンにする。

【 0 0 3 2 】

複数のフィールドデバイスを有する無線ノードの場合では、フィールドデバイスのうちの 1 つをオンにすることによって、当該ノードの全てのフィールドデバイスをオンする必要がある可能性がある。例えば、ノード 2 0 におけるフィールドデバイス F D 1 , F D 2 が、共通の電力および通信バスを W D R 3 4 と共有している場合、その通信バスに電力

10

20

30

40

50

が加えられるとフィールドデバイス F D 1 , F D 2 の双方がオンになると思われる。

【 0 0 3 3 】

ひとたびフィールドデバイスの電源がオンになれば、ホストコンピュータ 1 2 が当該フィールドデバイスとの通信を完了するまで、当該フィールドデバイスを全電力状態に維持しておくことが望ましい。無線ネットワーク 1 6 が、たとえスケジュールされたデューティサイクルに従って、オンとオフとを繰り返しているとしても、実行中の通信が継続している限りは、ホストコンピュータ 1 2 と通信しているフィールドデバイスを全電力状態に維持しておくことが望ましい。フィールドデバイスがホストコンピュータ 1 2 からの制御メッセージに応答して、全電力状態に到達するのに要する時間は、フィールドデバイスの種類によって、ほんの数秒から 6 0 秒にもなり得る。

10

【 0 0 3 4 】

アドレス指定されたフィールドデバイスをオンすることを要求する制御メッセージをホストコンピュータ 1 2 から受信したとき、目的の通信を完了するために必要であるとして、その制御メッセージには、ホストコンピュータ 1 2 によって指定された特定の期間中、フィールドデバイスを全電力のオン状態に維持させるコマンドが含まれ得る。あるいは、ホストコンピュータ 1 2 との通信が停止するまでフィールドデバイスをオン状態に維持させるコマンドが含まれ得る。コマンドは、フィールドデバイスに関連付けられている無線機器ルータによって決定され、無線機器ルータは、ホストコンピュータ 1 2 から制御メッセージを受信して、その制御メッセージをフィールドデバイスにルーティングし、フィールドデバイスからホストコンピュータ 1 2 に返信される応答の受信も行う。メッセージの休止期間が生じると、無線機器ルータは、自動的にフィールドデバイスをオフする。

20

【 0 0 3 5 】

個々のフィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 の電力状態を個別に制御することによって、制御システム 1 0 は、無線ネットワーク 1 6 の全体的な電力消費を低減し、特にネットワーク 1 6 の個々のノード 2 0 ~ 3 0 における電力消費を低減する。ホストコンピュータ 1 2 との通信が停止した後にのみ、フィールドデバイスを低電力状態に復帰させることによって、ホストコンピュータ 1 2 と特定のフィールドデバイスとの間の応答性は向上する。望ましくない、フィールドデバイスの高電力（オン）状態と低電力（オン）状態との間の変化が避けられる。

【 0 0 3 6 】

30

無線ネットワーク 1 6 のノード 2 0 ~ 3 0 で電力を節約可能にする別の方法は、ホストコンピュータ 1 2 が、選択されたフィールドデバイスとの通信を完了できるように、能動的に通信に参加しているノードを、延長された高電力（オン）状態に維持しておく一方で、通信に参加する予定のないノードを、低電力（オフ）状態にさせておくことである。

【 0 0 3 7 】

無線メッシュネットワークにおいて、メッセージは、一般的に、ノードからノードへと伝送される。無線メッセージのための、代替の冗長伝送路が通常存在するものである。無線メッシュネットワーク内で、メッセージが特定のフィールドデバイスに向けられているとき、メッセージを最終送信先まで伝送するのに、いくつものノードがそのメッセージの送受信に関与する可能性がある。例えば、ノード 3 0 のフィールドデバイス F D 7 に向けられたメッセージについて考察する。ノード 3 0 への無線メッセージの伝送路は、ゲートウェイ 1 8 からノード 2 0 , 2 2 を介してノード 3 0 へと通じる可能性がある。あるいは、メッセージは、ノード 2 6 を介してノード 3 0 へと通じたり、ノード 2 4 , 2 8 を介して、ノード 3 0 へと通じたりする可能性がある。ノード 3 0 からゲートウェイ 1 8 に送信されたのち、ホストコンピュータ 1 2 に送信される、フィールドデバイス F D 7 からの応答メッセージのための帰還伝送路が同様に存在し得る。ホストコンピュータ 1 2 とフィールドデバイス F D 7 との間の通信が、ゲートウェイ 1 8 からノード 2 6 を介してノード 3 0 へと通じる伝送路上で行われ、その同じ伝送路に沿って戻る場合、その通信がホストコンピュータ 1 2 およびフィールドデバイス F D 7 のみを関与させるものである限り、その他のノード 2 0 , 2 2 , 2 4 , 2 8 は不要である。

40

50

【 0 0 3 8 】

ゲートウェイ 18 は、ホストコンピュータ 12 が必要として、無線ネットワーク 16 上に送信されたメッセージを受信する。無線ネットワーク 16 の高電力（オン）状態が生じたとき、ゲートウェイ 18 は、ホストコンピュータ 12 からのメッセージを送受信するのに関与するであろう各ノードにメッセージを送信することができると共に、それらノードに、特定の期間中、あるいはその通信が終了するまで、オン状態を維持するように指示することができる。ゲートウェイ 18 は、ネットワーク 16 内で信号をルーティングする伝送路に関する情報を維持することによって、関与するであろうノードを特定することができる。メッセージを送受信するために、各ノードが隣接するノードと確立したリンクを突き止めるために、ゲートウェイ 18 は、各ノードに定期的に問い合わせることができる。問い合わせた情報に基づいて、ゲートウェイ 18 は、ホストコンピュータ 12 からのメッセージが通過する可能性のある 1 つまたは複数の伝送路を特定することができ、特定された伝送路は、必要となるノードに指示を与えるのに用いられ得る。ゲートウェイ 18 から、オン状態を維持するよう指示するメッセージを受信していないノードは、通信のデューティサイクルにおける通常の高電力（オン）状態の終了するときに、自動的にオフされるようになる。オン状態を維持することを指示された残りのフィールドデバイスは、ホストコンピュータ 12 が少なくとも 1 つのフィールドデバイスと通信を継続している限り、高電力（オン）状態を維持するようになる。

10

【 0 0 3 9 】

あるいは、ゲートウェイ 18 は、計画された通信に能動的に関与する予定ではないノードのそれぞれにメッセージを供給して、それらのノードがオフになることを指示することができる。オフになる指示を受信していないノードは全て、オンし続けるようになる。しかし、この手段は、たとえノードが通信に関与していなくても、ノードが、オフさせるメッセージを受信していなかったという理由だけで、オンし続けるノードが生じることになり得る。

20

【 0 0 4 0 】

どのノードがオンのままとなり、どのノードがオフとなるのかを管理する別の方法では、通信のデューティサイクルにおける通常の高電力（オン）期間の間にメッセージを送受信したフィールドデバイスは全て、ゲートウェイ 18 からオフになることを指示するメッセージを受信するまで、あるいは当該ノードによってさらなるメッセージが送受信されることなく、ある一定の期間が経過するまで、オンのままでいる必要がある。このようにして、メッセージを目標のフィールドデバイスにルーティングできると共に、メッセージを目標のフィールドデバイスからルーティングできるように維持する必要があるノードをオンに維持するように、ネットワーク 16 は、当該ネットワーク 16 を動的に設定する。関与していないノードは、デューティサイクルの高電力（オン）期間が終了するときに、自動的にオフになるようになっている。

30

【 0 0 4 1 】

能動的に通信に参加しているノードのみを関与させた通信を、延長されたオン状態で継続させておくことにより、無線ネットワーク 16 を恒久的にオン状態のままにしておかなくても、待ち時間を低減することができ、通信を改善することができる。通信が停止すると、延長されたオン状態に関与してきたノードは、無線ネットワーク 16 における通常の通信デューティサイクルのオフ / オンに再同期されるようになる。

40

【 0 0 4 2 】

有線制御システムでは、HART、フィールドバス、プロフィバス等の制御メッセージプロトコルに従った、周知の制御メッセージを用いて、ホストコンピュータとフィールドデバイスとの間で通信が行われる。（例えば、図 1 に示すフィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 等の、）有線制御システムに用いることが可能であるフィールドデバイスは、周知の制御メッセージプロトコルの 1 つに従った、制御メッセージを利用する。無線ノード 20 ~ 30 は、無線ネットワーク 16 の一部であり、これら周知の制御メッセージを、ホストコンピュータ 12 と直接やり取りすることはできない。その理由は、ネットワーク 16 を

50

介した無線通信は、本来は汎用である無線プロトコルに従って行われるからである。

【0043】

無線プロトコルを用いて通信することをホストコンピュータ12およびフィールドデバイスFD1～FD9に要求するのではなく、無線ネットワーク16を介して、ホストコンピュータ12とフィールドデバイスFD1～FD9との間で、周知のフィールドデバイス制御メッセージを送受信できる方法を提供することができる。周知のフィールドデバイス制御メッセージは、汎用の無線プロトコルに組み込まれているので、ホストコンピュータ12とフィールドデバイスFD1～FD9との間で、その制御メッセージをやり取りすることができ、フィールドデバイスFD1～FD9との通信を制御することができる。その結果、無線ネットワーク16および無線ネットワーク16の無線通信プロトコルは、ホストコンピュータ12およびフィールドデバイスFD1～FD9に対して、本質的に透過的である。以下の説明では、周知の制御メッセージプロトコルの一例として、HARTプロトコルが使用される。ただし、本発明は、(例えば、ファウンデーション・フィールドバス、プロフィバス等の)他の制御メッセージプロトコルにも適用できる。

10

【0044】

同様の問題は、メッセージをフィールドデバイスFD1～FD9へ向けて送り出すためにホストコンピュータ12が用いるアドレスに関連している。有線システムでは、ホストコンピュータは、固有のフィールドデバイスアドレスを用いて、各フィールドデバイスをアドレス指定する。そのアドレスは、使用されている特定の通信プロトコルの一部として定義され、一般的に、ホストコンピュータによってフィールドデバイスに送信される制御メッセージの一部を形成する。

20

【0045】

図1に示すネットワーク16のような無線ネットワークが、メッセージをホストコンピュータからフィールドデバイスにルーティングするのに用いられる場合、ホストコンピュータが用いるフィールドデバイスアドレスは、無線ネットワークの通信プロトコルが用いる無線アドレスとは互換性がない。さらに、図1の無線ノード20,30によって例示されるように、単独の無線ノードに関連付けられた複数のフィールドデバイスが存在し得る。無線ノード20が2つのフィールドデバイスFD1,FD2を有する一方で、無線ノード30は、3つのフィールドデバイスFD7～FD9に関連付けられている。

【0046】

30

アドレスに対処する1つの方法は、フィールドデバイスアドレスではなく、無線アドレスを使用するように、ホストコンピュータ12に要求することである。しかし、この方法を用いると、ホストコンピュータ12が有線通信リンクを介してフィールドデバイスと通信しているのか、それとも、ホストコンピュータ12が少なくとも一部を無線ネットワークを介して通信しているのかによって、ホストコンピュータ12に異なるプログラミングを施すことが必要になる。さらに、複数のフィールドデバイスの問題が残っており、複数のフィールドデバイスは、一般に異なった目的を持つため、個別にアドレス指定される必要がある。

【0047】

40

別の方法では、ホストコンピュータ16によって提供されたフィールドデバイスアドレスを、対応する無線アドレスに変換するために、ゲートウェイ18を用いる。無線メッセージは、その無線アドレスに送られ、また、メッセージを受信するノードがメッセージを適切なフィールドデバイスに向けて送り出すことができるように、フィールドデバイスアドレスも有している。フィールドデバイスアドレスを、対応する無線アドレスに変換することによって、ホストコンピュータ12は、フィールドデバイスと通信する際に、固有のフィールドアドレスドメインにおいて機能することができる。無線ネットワーク16の存在は、ホストコンピュータ12およびフィールドデバイスFD1～FD9にとって透過的である。

【0048】

ホストコンピュータ12とフィールドデバイスFD1～FD9との間で通信するために

50

、無線ネットワーク 16 を使用することによって生じるさらに別の問題は、電力節約によりフィールドデバイスが利用できないことである。有線制御システムでは、ホストコンピュータは、あたかもフィールドデバイスが要求に応じて利用可能であるかのように、フィールドデバイスと通信する。フィールドデバイスには常に電源が入っており、フィールドデバイスは常に利用可能であるということを前提としている。

【0049】

低電力無線ネットワークでは、この問題はあてはまらない。電力を節約するために、低電力無線ネットワーク内のフィールドデバイスは、ほとんど常に利用不可、あるいは休止状態である。周期的に、無線ネットワークは起動状態に入り、起動状態の間では、メッセージを、フィールドデバイスへ伝送、あるいはフィールドデバイスから伝送することができる。ある期間経過後に、無線ネットワークは再び、低電力の休止状態に入る。

10

【0050】

無線ネットワークが休止状態である期間中に、あるいは、特定のフィールドデバイスが低電力の休止状態である期間中に、ホストコンピュータが通信を試みた場合、フィールドデバイスが即座に応答しないことは、通信障害であるとホストコンピュータに解釈される可能性がある。ホストコンピュータは、メッセージが無線ネットワークを通過する特定のルートを判定するものでもなければ、無線通信のために電源をオン/オフにする周期を制御するものでもない。その結果、ホストコンピュータは、フィールドデバイスの応答がないことを、デバイスの不具合であると解釈する可能性があるが、応答がないときというのは、低電力無線ネットワーク内で行われる通信方法に内在する結果である。

20

【0051】

無線ネットワーク 16 の存在を、ホストコンピュータ 12 に対して透過的にするために、ゲートウェイ 18 は、ホストコンピュータ 12 と無線ネットワーク 16 との間のフィールドデバイスメッセージの伝送を分離する。ゲートウェイ 18 は、無線ネットワーク 16 の現在の状態を判定し、無線ネットワーク 16 の電力サイクルを特定する。さらに、ゲートウェイ 18 は、フィールドデバイスがオンされてから、ホストコンピュータ 12 からの制御メッセージに対する応答メッセージを供給する準備ができるのに要する応答時間についての情報を蓄積する。

【0052】

メッセージがホストコンピュータ 12 によってゲートウェイ 18 に供給されるとき、フィールドデバイスアドレスに基づいて、予測応答時間が決定される。その予測応答時間はホストコンピュータ 12 に供給されるので、ホストコンピュータ 12 は、予測応答時間経過前に応答メッセージがないことを、通信障害であると処理しないようになる。その結果、ホストコンピュータ 12 は、実際には無線ネットワーク 16 およびフィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 が要求に応じて利用できない場合に、あたかも無線ネットワーク 16 およびフィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 が要求に応じて利用可能であるかのように、フィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 を取扱うことができる。

30

【0053】

図 2 は、図 1 に示される制御システム 10 の一部のブロック図を示す。図 2 では、ホストコンピュータ 12、高速ネットワーク 14、ゲートウェイ 18、および無線ノード 22 が示されている。

40

【0054】

図 2 において、ホストコンピュータ 12 は、フィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 にメッセージを送信すること、そしてフィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 からのメッセージに含まれたデータを受信および分析することを促進するアプリケーションプログラムを実行する、分散制御システムのホストである。ホストコンピュータ 12 は、ユーザがフィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 を監視し、またフィールドデバイス F D 1 ~ F D 9 と通信することができるように、例えば、アプリケーションプログラムとして A M S (t m) デバイスマネージャを使用することができる。

【0055】

50

ホストコンピュータ１２は、拡張可能なマークアップ言語（XML）のフォーマットであるメッセージを用いて、ゲートウェイ１８と通信する。フィールドデバイスFD１～FD９宛の制御メッセージは、HARTプロトコルに従って送出され、XMLフォーマットでゲートウェイ１８に伝送される。

【００５６】

図２に示された実施形態において、ゲートウェイ１８は、ゲートウェイインターフェイス６０、メッシュマネージャ６２、および無線機６４を備える。ゲートウェイインターフェイス６０は、ホストコンピュータ１２からXMLドキュメントを受信して、HART制御メッセージを抽出し、その制御メッセージを、無線ネットワーク１６上に送信される無線メッセージに組み込まれるフォーマットに変更する。

【００５７】

メッシュマネージャ６２は、組み込まれたHART制御メッセージと、HARTメッセージの宛先のフィールドデバイスに対応するノードの無線アドレスとを用いて、無線メッセージを形成する。メッシュマネージャ６２は、例えば、ルックアップテーブルを維持することができ、そのルックアップテーブルには、各フィールドデバイスアドレスが、そのフィールドデバイスアドレスに対応するフィールドデバイスが設置されたノードの無線アドレスと相互に関連付けられている。この例において、注目すべきフィールドデバイスは、無線ノード２２に設置されたデバイスFD３である。無線プロトコルに従った無線メッセージには、無線ノードアドレスが含まれており、その無線ノードアドレスは、ネットワーク１６を介して無線メッセージをルーティングするのに用いられる。フィールドデバイスアドレスは、無線メッセージ内に組み込まれたHARTメッセージに格納され、ネットワーク１６を介して無線メッセージをルーティングするのには用いられない。その代わりに、フィールドデバイスアドレスは、無線メッセージが目的のノードに到達したら用いられる。

【００５８】

メッシュマネージャ６２は、無線機６４に無線メッセージを送信させ、送信された無線メッセージは、ネットワーク１６内を１回あるいは複数回ホップして、ノード２２に送信される。例えば、ノード２２へのメッセージは、ゲートウェイ１８からノード２０へ送信されたのち、ノード２２へと送信され得る。あるいは、ゲートウェイ１８からノード２６へ送信されたのち、ノード２２へと送信され得る。ネットワーク１６における別のルートもまた可能である。

【００５９】

フィールドデバイスへの制御メッセージの配信を管理するために、ゲートウェイインターフェイス６０およびメッシュマネージャ６２もまた、たとえ無線ネットワーク１６の電源がオフ（すなわち休止モード）になっている可能性があっても、あたかも無線ネットワーク１６の電源がオンになっているかのように、ホストコンピュータ１２と通信する。メッシュマネージャ６０は、無線ネットワーク１６の正確な電力の供給状態を判定する。メッシュマネージャ６０は、また、無線ネットワーク１６への電力供給がオンからオフへ、あるいはオフからオンへと状態が変化する今後の時間を決定するために、電力サイクルの時間を算出する。電源がオンである間に、メッセージが無線ネットワークに送信された場合、応答時間は影響を受ける可能性がある。しかし、次回電源がオンになる周期になるまで、応答は行われないものと推測される。さらに別の要因は、フィールドデバイスの起動時間である。メッシュマネージャ６２またはゲートウェイインターフェイス６０は、様々なフィールドデバイスの起動時間を記録したデータベースを蓄積することができる。フィールドデバイスアドレスが分かれば、予測起動時間を決定できる。

【００６０】

無線ネットワーク１６の現在の電力状態に基づいて算出できるのは、無線ネットワークが状態を変化させるまでの時間、フィールドデバイスの起動時間、ネットワークメッセージの予測ルーティング時間、現在の周期ではなく、次回電源がオンになる周期において応答が行われる可能性、メッセージがフィールドデバイスに配信されるのに要する推定時間

10

20

30

40

50

、および応答メッセージがゲートウェイ 18 に返信されるのに要する推定時間である。これらの情報は、算出後、ホストコンピュータ 12 に供給され得る。ホストコンピュータ 12 は、推定応答時間の前には応答を予期しないので、推定応答時間の前にメッセージを受信できなくても、ホストコンピュータ 12 によって、通信障害またはフィールドデバイスの不具合として処理されることはないものと考えられる。

【0061】

無線ネットワーク 16 の電力サイクルが予め把握されているので、ゲートウェイ 18 は、応答時間に影響を与える要因に基づいて、フィールドデバイスとの通信を試みる上での最良の方策を決定することもまた可能である。例えば、電力サイクルがオンからオフへと変化する直前であれば、次回電源がオンになる周期が始まるまで、無線ネットワーク 16 を通じたメッセージのルーティングを開始するのを待つことが、よりよい方策となり得る。

10

【0062】

図 2 に示すように、無線ノード 22 は、無線機 36、無線機器ルータ (WDR) 38、およびフィールドデバイス FD3 を備える。この特定の例では、フィールドデバイス FD3 は、標準的な HART フィールドデバイスであり、HART 制御メッセージプロトコルを用いてフィールドデータを伝送する。フィールドデバイス FD3 は、WDR 38 によって電源をオン/オフにされ、また、WDR 38 と直接通信する。

【0063】

ネットワーク 16 上に送信された無線メッセージは、無線ノード 22 の無線機 36 で受信される。受信された無線メッセージは、WDR 38 によって検査され、ノード 22 宛であるか確認される。ノード 22 は宛先アドレスであるので、無線メッセージは開封され、組み込まれた HART メッセージが抽出される。WDR 38 は、組み込まれた HART メッセージに格納されたフィールドデバイスアドレスに基づいて、HART メッセージがフィールドデバイス FD3 に向けられたものであると判定する。

20

【0064】

電力を節約するため、WDR 38 は、何らかの動作が必要になるまで、フィールドデバイス FD3 を休止モードに維持しておくことができる。無線メッセージ内に格納された HART メッセージを受信すると、直ちに、WDR 38 は、フィールドデバイス FD3 を起動する措置を取る。HART メッセージを受信してからフィールドデバイス FD3 を起動するまでは、ほんの数秒ともなり得るし、あるいは、例えば約 30 ~ 60 秒の遅れともなり得る。フィールドデバイス FD3 が、HART メッセージを受信して、受信した HART メッセージに従って動作する準備ができたときに、WDR 38 は、HART 制御メッセージをフィールドデバイス FD3 に送信する。

30

【0065】

フィールドデバイス FD3 によって受信されたメッセージは、WDR 38 に応答して、測定データまたはその他のステータス情報を含むメッセージを供給することが必要となり得る。フィールドデバイス FD3 は、測定データを収集するため、またはステータス情報を生成するために必要な動作を行い、HART 制御フォーマットで応答メッセージを生成し、生成した応答メッセージを WDR 38 に送信する。HART 応答メッセージは、送信後に修正され、無線プロトコルに従って無線応答メッセージに組み込まれ、ゲートウェイ 18 にアドレス指定される。WDR 38 は、無線ネットワーク 16 上に送信するために、無線応答メッセージを無線機 36 に供給する。無線応答メッセージは、無線機 36 への供給後に 1 つあるいは複数のホップによってゲートウェイ 18 に送信され、ゲートウェイ 18 では、無線応答メッセージから HART 応答メッセージが抽出され、抽出された HART 応答メッセージは XML 形式にフォーマットされ、高速ネットワーク 14 を介してホストコンピュータ 12 に送信される。

40

【0066】

図 3 は、図 1, 2 に示された無線ネットワークを介して送信される、一般的な無線メッセージの図面を示す。無線メッセージ 70 は、無線プロトコルビット 72、ペイロード 7

50

4、および無線プロトコルビット76を備える。プロトコルビット72, 76は、無線メッセージ70を、メッシュネットワーク16を介して所望の送信先に適切にルーティングするのに必要とされる。ペイロード74は、送信されている制御メッセージの内容を表す。本発明では、(ホストコンピュータ12およびフィールドデバイスFD1~FD9の双方によって用いられる制御メッセージプロトコルにおける)制御メッセージは、無線メッセージ70内にペイロード74として組み込まれる。

【0067】

図4は、ホストコンピュータ12によって生成されたときの、制御メッセージ80のフォーマットを示す。この特定の例では、制御メッセージ80は、HARTプロトコルを用いて構成される。制御メッセージ80は、プリアンプル82、デリミタ84、フィールドデバイスアドレス86、コマンド88、バイトカウント90、データ92、およびチェックバイト94を備える。制御メッセージ80は、ゲートウェイインターフェイス60で修正されたのち、ペイロード74として無線メッセージ70に組み込まれる。

【0068】

図5は、制御メッセージ80から形成されたペイロード74のフォーマットを示す。ペイロード74を形成するために、インターフェイス60は、制御メッセージ80から物理層オーバーヘッドを除去し、シーケンス情報を付加する。

【0069】

図4, 5を比較することによって示されているように、ペイロード74と制御メッセージ80との第1の相違点は、プリアンプル82が除去されているという点である。制御メッセージは、無線プロトコルを用いてネットワーク上に送信されることになるので、プリアンプルを使用する必要はない。プリアンプル82を除去することで、不必要な情報が削除された分、ネットワーク16の効率が高まる。

【0070】

ペイロード74と制御メッセージ80との第2の相違点は、メッセージID96が付加されている点であり、メッセージID96は、データ92の後ろに続くとともに、チェックバイト94に先行する2バイトの番号である。プリアンプル82を除去してメッセージID96を付加することにより、チェックバイト94の再計算も必要になる。

【0071】

メッセージID96の用途は、遅延メッセージの拒否である。メッセージID96により、メッセージの受信側は、順序から逸脱したメッセージを拒否することができる。無線メッシュネットワーク16は、メッセージが、当該メッセージの送信先に到達するのに複数の伝送路を通ることができるように、設計されている。メッセージは、1つのノードから別のノードへと伝送され、特定のノードで遅延する可能性がある。特定のノードでの遅延は、干渉あるいは信号の品質の劣化によって起こり得る。メッセージが十分に長い時間遅延した場合、ホスト12は、再試行を行う、および/または新規のメッセージを発行する可能性がある。その場合、遅延したメッセージが配信される前に、少なくとも1つのメッセージが送信先のノードに到達する可能性がある。遅延した制御メッセージが配信されたとき、その遅延した制御メッセージを受容、あるいは拒否するために、メッセージID96を用いることができる。

【0072】

図6は、ペイロード74のフォーマットの第2実施形態を示し、第2実施形態では、トレイラ・ファンクション・コード98およびトレイラペイロード(またはメッセージID)96が、トレイラフレーム100を形成する。トレイラフレーム100は、デリミタ84、フィールドデバイスアドレス86、コマンド88、バイトカウント90、データ92、およびチェックバイト94によって形成された制御メッセージに付加される。トレイラ100は、チェックバイト94に含まれない代わりに、データの完全性および信頼性を、無線ネットワークプロトコル層に依存している。

【0073】

トレイラ100は、ファンクション・コード98および(もしあれば、メッセージID

10

20

30

40

50

を含む) ペイロード 96 を格納する。ファンクション・コード 98 は、トレイラ 100 の内容を定義する、符号なしのバイトである。追加的なパディングバイトのような、未定義のペイロードバイトは、無視されることになる。トレイラ 100 の使用は、ゲートウェイ 18 と無線フィールドデバイス FD1 ~ FD9 との間のメッセージにのみ適用される。表 1 は、トレイラ 100 用に定義されたファンクション・コードの一例を示す。

【0074】

【表 1】

ファンクション・コード	意味	ペイロード長および説明
0	No Message ID (メッセージIDなし)	0~2バイト(任意のパディング)
1	Force Accept (強制受容)	2バイトーメッセージID
2	Clear Force Accept With Force (強制により強制受容解除)	2バイトーメッセージID
3	Normal Message ID (通常のメッセージID)	2バイトーメッセージID

10

ファンクション・コード 0 ~ 3 は、メッセージ ID を参照して用いられる。メッセージ ID は、無線メッシュネットワーク 16 上で、遅延メッセージを拒否するために用いられる。メッセージ ID により、メッセージの受信側は、順序から逸脱したメッセージを拒否することができる。さらに、発行されたデータが順序を逸脱して到達したかを判定するために、ゲートウェイ 18 は、メッセージ ID を用いることができる。

20

【0075】

メッセージ ID を生成する規則は、以下のとおりである。

メッセージ ID は、送信側から受信側へのメッセージシーケンスを列挙する。メッセージ ID は、固有であり、かつ新たなメッセージ ID 毎に 1 ずつ増加しなければならない、符号なしの 2 バイトの値である。

【0076】

新たなメッセージ ID は、全ての要求 / 応答トランザクション毎に生成されることになっている。送信側から受信側への要求を再試行する場合、送信側から受信側への要求で未処理の要求がただ 1 つしかなければ、メッセージ ID を再使用することができる。有効なメッセージ ID を有する有効な要求メッセージを受信した後、フィールドデバイスは、受信したメッセージ ID を応答と共にそのまま送り返さなければならない (エコーバックしなければならない)。

30

【0077】

新たなメッセージ ID は、デバイスからの全ての発行メッセージ毎に生成されることになっている。発行メッセージ ID は、要求 / 応答メッセージ ID とは関係なく生成される。

40

【0078】

メッセージ ID を認証する規則は、以下のとおりである。

受信側は、妥当性比較がメッセージ ID カウンタのロールオーバー (rollover) を回避ように、メッセージ ID を認証するためのウィンドウを実行しなければならない。一例としては、256 個の以前の ID を有する 1 つのウィンドウ内のいかなるメッセージも、WDR / フィールドデバイスによって、順序から逸脱しているとして無視される可能性がある。しかし、メッセージ ID が支障なくウィンドウの外にあれば、受信側はそのメッセージを受容することになっている。メッセージを受容すると、常に、メッセージ ID は、最後に有効に受信されたメッセージ ID として、キャッシュに格納される。

【0079】

50

再起動後、受信側は、受信する最初のメッセージIDを受容してもよいし、受容しないのであれば、デバイスのアプリケーションが適当とみなすいかなる方法でも、妥当性チェックを初期化しなければならない。この初期化の指針では、デバイスは、デバイス発行が最初にゲートウェイに到達することを要求することなく、処理状態が把握されていない新たな要求を、常に受容する。

【0080】

無効な（順序を逸脱した）IDを有する、発行されたメッセージの受信側は、受信側のアプリケーションに応じて、そのメッセージを利用してもよいし、拒否してもよい。

ファンクション・コードを解釈する規則は、以下のとおりである。

【0081】

送信側は、トレイラ100を省略する、あるいはファンクション・コードとしてNOMESSAGE IDを指定することによって、メッセージIDなしでメッセージを送信することができる。応答が発生して、WDR / フィールドデバイスがトレイラをサポートする場合、返信のファンクション・コードは「NOMESSAGE ID」に設定されることになる。

【0082】

メッセージIDが与えられている場合、ファンクション・コードがFORCE ACCEPTまたはCLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCEに設定されていたら、そのメッセージIDは受容されなければならない。NORMAL IDのファンクション・コードを有するメッセージは、メッセージIDの認証規則を通して、潜在的な破棄の対象になるものと考えられる。

【0083】

ゲートウェイ18がリセットした場合、ゲートウェイ18は、FORCE ACCEPTのファンクション・コードを用いて最初の要求を行うことになっている。最初の要求により、受信側のフィールドデバイスは、その要求およびそれに付随するメッセージIDを受容することを強制される。また、フィールドデバイスに要求およびメッセージIDの受容を強制することにより、ゲートウェイ18は、デバイスの有効なメッセージIDのカウンタの値を確認する必要がなくなる。ゲートウェイ18は、ひとたび有効な応答メッセージを適合するメッセージIDと共に受信したら、FORCE ACCEPTの使用を停止することになっている。

【0084】

ゲートウェイ18は、CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCEのファンクション・コードを、有効なメッセージIDとして受容することになっているものの、WDR / フィールドデバイスは、CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCEをゲートウェイ18に送信しないことになっている。

【0085】

システム内のWDR / フィールドデバイスがリセットした場合、WDR / フィールドデバイスは、FORCE ACCEPTに設定されたコマンドと共に、発行メッセージを送信することになっている。FORCE ACCEPTに設定されたコマンドにより、ゲートウェイ18は、発行されたデータを受容することを強制される。

【0086】

ゲートウェイ18がFORCE ACCEPTのファンクション・コードを認識した場合、ゲートウェイ18は、それに続くメッセージで、有効なメッセージIDと共に、CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCEを発行してもよい。

【0087】

CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCEを受信すると、WDR / フィールドデバイスは、強制受容の状態を解除して、供給されたメッセージIDを常に受容することになっている。

【0088】

（無線プロトコルの）無線メッセージ内において、（制御メッセージプロトコルの）組

10

20

30

40

50

み込まれた制御メッセージを使用することによって、分配制御システムのホストコンピュータは、無線通信ネットワークを介してフィールドデバイスと通信することが可能になる。無線ネットワーク上での制御メッセージの伝送に適応させるために、制御メッセージは、ホストコンピュータ、あるいはフィールドデバイスによって修正される必要はなく、制御メッセージは、HART、フィールドバス等のような周知の制御メッセージフォーマットを用いて、ホストコンピュータとフィールドデバイスとの間でやり取りされることが可能である。ホストコンピュータとフィールドデバイスとの間でやり取りされる制御メッセージの内容が、無線ネットワークを通過した結果、変更されないように、制御メッセージは、無線通信プロトコル内に組み込まれる。

【0089】

無線通信プロトコルを介してルーティングするには大きすぎる制御メッセージは、細分化され、複数の断片として送信され得る。各断片は、無線メッセージに組み込まれ、複数の断片は、当該複数の断片が無線ネットワークから出たときに、元の制御メッセージに再構築され得る。元の制御メッセージの組み込まれた断片を有する個々の無線メッセージが、たとえ無線ネットワークを通じた異なる伝送路を通過するとしても、組み込まれた制御メッセージ内のメッセージIDを用いることにより、複数の断片は本来の順番で再構築され得る。

【0090】

フィールドデバイスアドレスを、対応する無線アドレスに変換することによって、ホスト12は、無線アドレスドメイン内のフィールドデバイスと通信する一方で、ホスト12の固有のフィールドデバイスアドレスドメインで機能することができる。メッセージをフィールドデバイスヘルーティングすること、およびメッセージをフィールドデバイスからルーティングすることに、無線ネットワーク16を用いることは、ホスト12にとって透過的である。アドレスを変換すること、および無線アドレスとフィールドデバイスアドレスとの双方を無線メッセージに含めることで、単一のノード（すなわち、単一の無線アドレス）に関連付けられている複数のフィールドデバイスを、個別にアドレス指定することができる。

【0091】

制御メッセージの一部として、無線メッセージのペイロードにフィールドデバイスアドレスを組み込むことは、簡単で効果的ではあるものの、必要に応じて、フィールドデバイスアドレスを、無線メッセージ内のペイロードや他の場所に別々に格納することも可能である。

【0092】

フィールドデバイスへのメッセージの送信を、ホストコンピュータ12と無線ネットワーク16との間で分離することによって、無線ネットワーク16の存在は、ホストコンピュータ12にとって透過的にもなる。ゲートウェイ18は、無線ネットワーク16の状態、およびメッセージに対する応答時間に影響を与え得る要因を監視する。ホストコンピュータ12によって送信されるメッセージに対する推定応答時間が与えられることによって、ゲートウェイ18は、たとえネットワーク16およびフィールドデバイスFD1～FD9が頻繁に低電力の休止状態であったとしても、フィールドデバイスFD1～FD9および無線ネットワーク16があたかも要求に応じて利用可能であるかのように、ホストコンピュータ12に、フィールドデバイスFD1～FD9および無線ネットワーク16を取り扱わせることができる。

【0093】

個々のフィールドデバイスおよび個々のノードのオン/オフ状態を微細管理することによって、ホストと特定の通信をするのに必要とされるフィールドデバイスおよびノードのみが、特定の通信が完了するまでオンのままとなる。ホストと特定の通信をするのに必要とされるフィールドデバイスおよびノードのみが、特定の通信が完了するまでオンのままとなることにより、通信に関与していないノードおよびフィールドデバイスによる電力消費が低減され、さらに、ノードおよびフィールドデバイスは、ホストと通信している最中

10

20

30

40

50

にオンとオフとを繰り返さないため、ホストとの通信がより効率的になる。

【 0 0 9 4 】

本発明は、好ましい実施形態を参照しながら説明されているが、当業者は、本発明の精神および本発明の範囲から逸脱することなく、形態の変更及び詳細な変更が可能であることを認識するであろう。例えば、制御システム 10 は、6 つのノードと 9 つのフィールドデバイスと共に図示されているが、より少ない、またはより多い数のノードおよびフィールドデバイスを備える別の構成も、同様に適用可能である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 9 5 】

【 図 1 】 無線メッシュネットワークが、ホストとフィールドデバイスとの間で無線メッセージをルーティングする、制御システムを示す図面である。

10

【 図 2 】 ホストコンピュータ、ゲートウェイノード、およびフィールドデバイスを有する無線ノードを含む、図 1 における制御システムの一部を示すブロック図である。

【 図 3 】 無線ネットワークによって伝送される、無線メッセージのフォーマットを示す図面である。

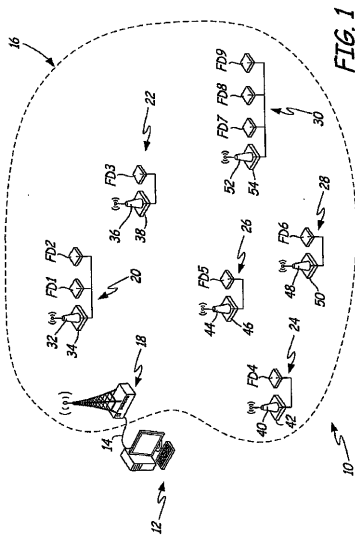
【 図 4 】 制御システムプロトコルに基づいた、ホストからフィールドデバイスへの制御メッセージのフォーマットを示す。

【 図 5 】 図 3 に示された無線メッセージのペイロードを形成するように修正された場合の、制御メッセージの一実施形態を示す。

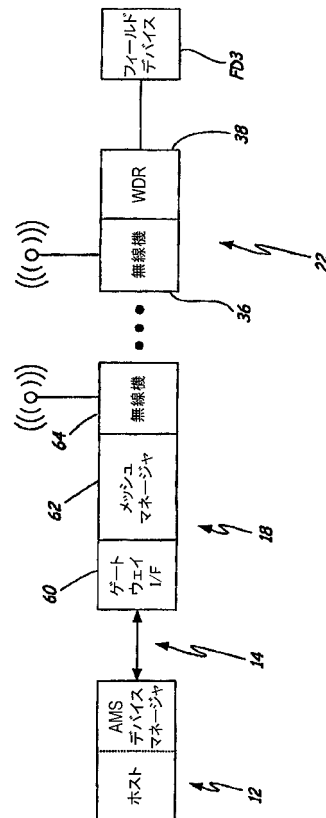
【 図 6 】 図 3 に示された無線メッセージのペイロードを形成するように、トレイラを付加されて修正された場合の、制御メッセージの別の実施形態を示す。

20

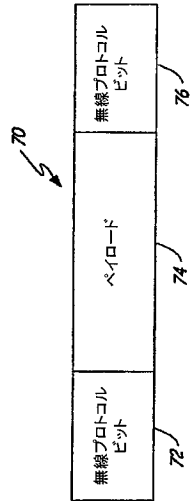
【 図 1 】



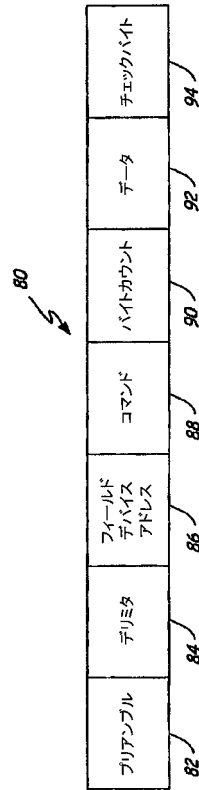
【 図 2 】



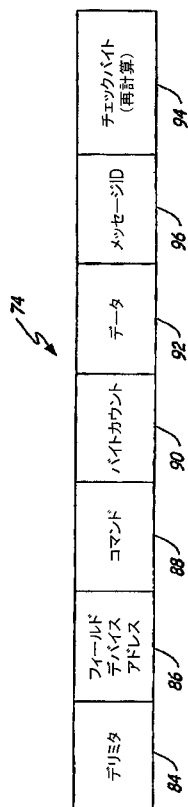
【図 3】



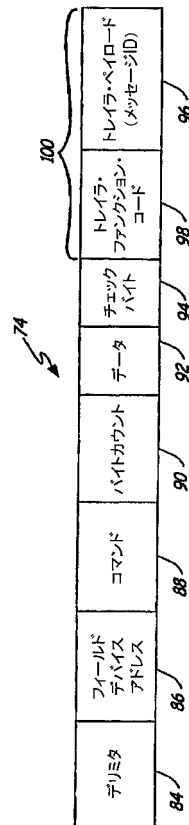
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US07/00690
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - G08B 1/08 (2007.01) USPC - 340/539.3 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC(8) - G08B 1/08; G06F 13/372 (2007.01) USPC - 340/539.3, 875.47; 710/18; 718/105; 709/224 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PatBase, MicroPatent		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6,374,311 B1 (MAHANY et al) 16 April 2002 (18.04.2002) entire document	1-17
A	US 6,859,831 B1 (GELVIN et al) 22 February 2005 (22.02.2005) entire document	1-17
A	US 2005/0149940 A1 (CALINESCU et al) 07 July 2005 (07.07.2005) entire document	1-17
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 20 August 2007		Date of mailing of the international search report 19 OCT 2007
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201		Authorized officer: Blaine R. Copenheaver PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2007)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 ドブロウスキー パトリック エム.

アメリカ合衆国 テキサス 78759-2369, オースティン, リサーチ パーク プラザ, ビルディング スリー, リサーチ ブールバード - ロードアパートメント 12301 フィッシャー ローズマウント システムズ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 ラブグレン エリック アール.

アメリカ合衆国 テキサス 78759-2369, オースティン, リサーチ パーク プラザ, ビルディング スリー, リサーチ ブールバード - ロードアパートメント 12301 フィッシャー ローズマウント システムズ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 オース ケリー エム.

アメリカ合衆国 テキサス 78759-2369, オースティン, リサーチ パーク プラザ, ビルディング スリー, リサーチ ブールバード - ロードアパートメント 12301 フィッシャー ローズマウント システムズ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 ストッツ カイル エル.

アメリカ合衆国 テキサス 78759-2369, オースティン, リサーチ パーク プラザ, ビルディング スリー, リサーチ ブールバード - ロードアパートメント 12301 フィッシャー ローズマウント システムズ, インコーポレイテッド内

Fターム(参考) 5K067 AA22 AA43 BB28 DD27 DD51 EE02 EE16 EE25 FF02 LL00